

APRENDIENDO DE LA HISTORIA Y FILOSOFÍA DE LA CIENCIA: DEFICIENCIAS EN LA ENSEÑANZA DE LOS CONCEPTOS MACROSCÓPICOS DE SUSTANCIA Y DE CAMBIO QUÍMICO

DOMÍNGUEZ-SALES, M.C. y FURIÓ-MÁS, C.

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials. Universitat de València.

Palabras clave: Concepto macroscópico de sustancia; Cambio químico; Deficiencias de enseñanza.

INTRODUCCIÓN, PROBLEMA E HIPÓTESIS.

La investigación educativa ha mostrado la existencia de numerosas dificultades en forma de errores en el aprendizaje de la química. La primera de ellas es relativa a la definición operacional (empírica) de sustancia, prerequisite fundamental en la comprensión de otros conceptos relacionados, como los de compuesto y proceso químico como cambio sustancial (Vogelezand 1987). En el caso de que la enseñanza no introduzca estas antiguas definiciones empíricas de sustancia y reacción química se pueden inducir problemas de aprendizaje. Uno de ellos será la dificultad de los estudiantes en diferenciar mezcla y compuesto (Sanmartí 1989), y otro consistirá en no saber distinguir el cambio físico del químico, ya que no dispondrán de criterios empíricos para saber si se conservan o no las sustancias cuando interaccionan (Johnson 1996).

Por otra parte, la investigación sobre concepciones alternativas ha resaltado la existencia de cierto isomorfismo entre algunas dificultades de los estudiantes y determinados problemas que se presentaron a lo largo de la historia de la ciencia (Furió et al. 1987). Así pues, el conocimiento de los problemas y soluciones dadas por los dos principales modelos históricos utilizados en la enseñanza de la Química (el macroscópico empirista de los siglos XVI a XVIII y el microscópico atomista del XIX), pueden servir al profesorado para organizar mejor los contenidos que tiene que enseñar. A fin de presentar brevemente el modelo macroscópico empirista que, presumimos, es menos utilizado en la enseñanza, desarrollamos a continuación un análisis histórico, que hace especial hincapié en los avances cualitativos que dieron lugar a la elaboración de las definiciones operacionales de sustancia, compuesto químico y reacción química en este marco macroscópico, e hicieron posible el nacimiento del modelo atomista clásico de la materia a principios del siglo XIX. Estos avances fueron los siguientes:

- a) A lo largo de los siglos XVI y XVII se mostró que los gases tenían peso (Torricelli, Pascal, von Guericke, etc.), que eran elásticos como los metales (Boyle), y que existía una diversidad de gases diferentes al aire (van Helmont). Todo esto puso en cuestión las diferencias establecidas en el paradigma aristotélico entre la materia corpórea (sólidos y líquidos) y la materia rara (gases), conduciendo a la aceptación de la materialidad de los gases y a la búsqueda de una hipótesis que explicara de forma unitaria el comportamiento de la materia.
- b) A lo largo de los siglos XVII y XVIII se definieron los conceptos macroscópicos de sustancia química y compuesto. En efecto, los avances en farmacia y metalurgia hicieron necesaria la introducción de la defi-

nición operacional de sustancia (pura), opuesta a la idea de mezcla, y definida como un cuerpo con un conjunto de propiedades físicas y químicas características. Dentro de este modelo histórico se elaboraron tablas empíricas, como la de Geoffroy en 1718, en las que constaban muchos de los compuestos conocidos hasta el momento, así como sus posibilidades de combinación en las denominadas reacciones de desplazamiento. Según algún historiador de la ciencia, todo ello suponía la introducción de los nuevos conceptos de compuesto y de reacción.

- c) Otro hito importante en este modelo macroscópico fue la introducción, por los filósofos mecánicos en el siglo XVII, de la noción empírica de cuerpo simple, o sustancia que no puede ser descompuesta, presentada como alternativa a la idea de elemento o principio aristotélico constituyente de los cuerpos. Más tarde, ya en el siglo XVIII, Lavoisier apoya esta idea sin concederle el estatus ontológico de elemento químico. Al considerar la intervención material de los gases en sistemas cerrados, este investigador propuso y constató la hipótesis de la conservación de la masa en las reacciones químicas. Estos avances cualitativos permitieron comprender macroscópicamente el cambio sustancial que tenía lugar en una reacción química, al relacionar los reactivos con los productos mediante la conservación de los elementos y, por tanto, de la masa. No obstante, a finales del XVIII se plantean problemas en este modelo macroscópico como, por ejemplo, el de la composición fija o no de los compuestos o el de si las reacciones químicas eran completas o incompletas (polémica de Proust y Berthollet), que justifican la emergencia del nuevo modelo microscópico daltoniano. Con el cambio de modelo, se reinterpretan, a principios del siglo XIX, las definiciones atomistas de compuesto y reacción química, así como la conservación de la masa (de los átomos) en el proceso. Sin embargo, durante todo este siglo la comunidad química estuvo dividida entre atomistas y equivalentistas.

En este trabajo se presupone que la enseñanza convencional de la Química concederá poca importancia a los logros del modelo macroscópico empirista descrito y nos hemos planteado, en concreto las siguientes cuestiones:

¿En qué medida la enseñanza de la química “olvida” la definición operacional de sustancia (opuesta a la de mezcla) ideada por el modelo histórico empirista antes de presentar el modelo atómico-molecular clásico?

¿En estas enseñanzas hay referencias explícitas a la existencia de dos niveles de representación macro-micro cuando se explican las reacciones químicas?

MÉTODOS Y MUESTRAS

Para dar respuesta a estas preguntas, trataremos de averiguar las ideas del profesorado de Física y Química respecto de estos conceptos, al tiempo que analizaremos cómo se presentan en los libros de texto. Para ello hemos elaborado un diseño múltiple y convergente que consta de dos partes. La primera está formada por tres pruebas diferentes destinadas a profesores: dos cuestionarios y un texto escrito. La segunda parte se ha llevado a cabo después de analizar las carencias mostradas por el profesorado. Para su realización, se ha elaborado una red de análisis de libros de texto, con el fin de poner de manifiesto el tratamiento que conceden a estos aspectos.

El primer cuestionario, contenía un único ítem, que proponía discutir los errores, similares a los que realizan los estudiantes, contenidos en un mapa conceptual. Se ha pasado a un grupo de 78 profesores en formación, que se encontraban cursando la asignatura de Didáctica de las Ciencias en el segundo ciclo de la Facultad de Ciencias Químicas. El segundo cuestionario constaba de cinco cuestiones abiertas, con las que se pretendía averiguar qué conceptos consideran necesario conocer para llegar a la comprensión de las reacciones químicas. Se ha pasado a un total de 88 profesores, con distinta experiencia. La última parte del diseño es una prueba escrita realizada por un grupo de 42 profesores que se presentaban a un concurso-oposición en el que habían de desarrollar el tema “*Sistemas materiales. Transformaciones físicas y químicas*”.

Para la segunda parte del diseño se ha elaborado un protocolo de análisis de libros de texto, formado por 27 cuestiones susceptibles de ser contrastadas, que se han aplicado a una muestra de 128 libros de texto de Enseñanza Secundaria y Bachillerato.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis de partida y se ofrecerán ampliamente en el congreso. Como resumen breve de los mismos, se ofrecen algunos datos cuantitativos:

- a) Más del 85% del profesorado no considera necesario conocer la definición macroscópica de sustancia para abordar el estudio de los cambios químicos. El 58'7% de los libros de texto no introduce este concepto. Por su parte, alrededor del 90% de los profesores encuestados no tienen en cuenta el concepto microscópico de sustancia y tampoco es introducido en un 90'8% de libros de texto.
- b) Más del 90% del profesorado no explica las diferencias entre mezcla (material) y sustancia a nivel macroscópico y un 26% los identifican explícitamente. El 70'6% de los libros no explicita la diferencia.
- c) Alrededor del 85% del profesorado y el 92'2% de los textos no explican el concepto macroscópico de reacción química como cambio sustancial, mientras un 80% de profesores y un 64'8% de textos no lo hacen con el concepto microscópico.
- d) Más del 98% del profesorado y un 93'6% de los libros de texto no hacen referencia a la existencia de dos niveles de representación (macro y microscópico), que hay que relacionar para explicar los cambios químicos.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

En conclusión, en este trabajo se ha constatado que la mayoría del profesorado encuestado y más de la mitad de los libros de Química de Bachillerato analizados no introducen las definiciones operacionales de sustancia y de reacción química como cambio sustancial correspondientes al nivel de representación macroscópica, y que fueron ideados en el modelo empirista de los químicos, que culminó a finales del siglo XVIII. También se ha mostrado que, prácticamente, la casi totalidad de las muestras de profesores y de libros considerados no establecen las oportunas relaciones macro-micro cuando se presentan aquellos conceptos en el marco del modelo atómico-molecular de la materia. La principal implicación didáctica de la ausencia de estas conceptualizaciones empíricas en la secuenciación de los contenidos de la Química es la de no salir al paso de las dificultades de aprendizaje que se presentan, sobre todo, en niveles introductorios. Es, pues, lógico esperar que los estudiantes sigan teniendo importantes problemas de comprensión a la hora de diferenciar mezcla de compuesto y cambio químico de cambio físico cuando acaban sus estudios de Bachillerato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHALMERS, A., 1998. Retracing the Ancient Steps to Atomic Theory. *Science & Education*, 7 (1), 69-84.
- FURIÓ, C., HERNÁNDEZ, J. y HARRIS, H., 1987. Parallels between adolescents' conception of gases and the History of Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 64 (7), 616-618.
- JOHNSON, P. M., 1996. What is a substance? *Education in Chemistry*, march, 41-42, 45.
- SANMARTÍ, N., 1989. *Dificultats en la comprensió de la diferenciació entre els conceptes de mescla i compost*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- VOGELEZANG, M.J., 1987. Development of the concept "chemical substance" – some thoughts and arguments. *International Journal of Science Education*, 9 (5), 519-528.